# Manual de técnicas microquímicas de campo para la arqueología

Luis Barba Roberto Rodríguez José Luis Córdoba

Cuadernos de Investigación

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLOGICAS

DIRECTORIO:
Lourdes Arizpe Schlosser — Directora
Ana María Salazar Peralta — Secretaria Académica
Boris Berenzon Gorn — Coordinador de Difusión y Publicaciones

Portada: Maia F. Miret

Primera edición, 1991
© Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM
Ciudad Universitaria
04510 México, D. F.

ISBN 968-36-2184-8

D. R. Derechos reservados conforme a la ley
Impreso y hecho en México
*Printed in Mexico*

# MANUAL DE TÉCNICAS MICROQUÍMICAS DE CAMPO PARA LA ARQUEOLOGÍA

LUIS BARBA
ROBERTO RODRÍGUEZ
JOSÉ LUIS CÓRDOVA

Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Investigaciones Antropológicas

# ÍNDICE


| | |
|---|---|
| Introducción | 9 |
| Determinación de restos inorgánicos | 11 |
| Hierro | 11 |
| Calcio | 13 |
| Fosfatos | 15 |
| Carbonatos | 17 |
| Cloruros | 19 |
| Determinación de restos orgánicos | 20 |
| Albúmina | 21 |
| Ácidos grasos | 22 |
| Carbohidratos | 23 |
| El potencial de hidrógeno | 24 |
| Color del suelo | 27 |
| Coloración negra | 27 |
| Coloración rojiza | 28 |
| Coloración gris | 29 |
| Coloración blanca | 29 |
| Coloración verde | 30 |
| Apéndice | 31 |
| Materiales y reactivos necesarios | 31 |
| Referencias bibliográficas | 33 |

# Introducción

Este manual surgió como una necesidad del Laboratorio de Prospección Arqueológica del Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA) para la capacitación de personal en el uso de las pruebas químicas en los proyectos realizados por el laboratorio. Después de utilizar estas pruebas durante años, nos dimos cuenta de que no teníamos ningún procedimiento por escrito que facilitara la capacitación al poner de una manera sucinta y ordenada los principios y procedimientos en que se fundamentan las técnicas microquímicas de prospección.

Por otro lado, en el Laboratorio de Química del Museo Montané de la Universidad de La Habana se han realizado experimentos con pruebas químicas para determinar restos orgánicos en cerámicas con resultados satisfactorios y aprovechables por el IIA.

Puesto que en el Laboratorio de Prospección Arqueológica del IIA se utilizan pruebas inorgánicas para determinar la funcionalidad en las cerámicas, integrar en un manual ambas técnicas permite tener una visión completa de este punto.

Fue así como decidimos unir esfuerzos, revisar procedimientos, simplificar técnicas y producir un manual que incorporara todas las pruebas químicas que utilizan cotidianamente ambos laboratorios para realizar su trabajo aplicado a la arqueología.

No es necesario mencionar que este manual pretende ser sólo un elemento de la prospección arqueológica. En otras palabras, sugiere, no prueba; da indicios, no evidencias. La interpretación de los resultados, como en cualquier trabajo

científico, no puede hacerse a partir de los resultados de uno solo de los procedimientos de análisis. Son el contexto y la interrelación de los resultados de las técnicas aquí descritas los que le darán al arqueólogo indicios (más que menos confiables) acerca de la validez de la prospección.



# DETERMINACIÓN DE RESTOS INORGÁNICOS

## HIERRO

### *Importancia*

El hierro constituye casi el 5% en peso del material de la corteza terrestre. Aunque casi nunca se encuentra libre en la naturaleza (a no ser el de origen meteorítico), se halla en casi todas las rocas, dando coloraciones características; de la misma forma, es un elemento ubicuo en las arcillas. Por lo anterior, la presencia de hierro está asociada con colores ocre o rojo oscuro, dependiendo del mineral y de las condiciones de horneado en el caso de cerámica. Así, en una atmósfera reductora,[1] como es el usual en la cerámica arqueológica, el hierro da colores de gris a negro, si bien en este último caso el color negro también puede deberse a la acción del humo.

Se han encontrado algunos patrones de contaminación que concentran hierro sobre los pisos de las unidades habitacionales. Otro uso muy importante es la distinción de pigmentos rojos. En la descripción de hallazgos arqueológicos se lee con frecuencia la posible presencia de cinabrio coloreado en cerámica u ofrendas. Sin embargo, también es conocido el hecho de que en muchas ocasiones no se trata de cinabrio sino de algún pigmento

[1]En el caso de atmósfera reductora el poco suministro de aire da lugar a la formación de CO (monóxido de carbono).

a base de hematita. Puesto que la hematita es un óxido de hierro, la distinción entre un compuesto de mercurio, como es el cinabrio, que además tiene muy diferente interpretación, y un compuesto de hierro, puede ser de gran ayuda y evitar confusiones.

Los estados de oxidación más comunes del hierro son +2 y +3. El hierro (II) se presenta como $Fe^{+2}$ (verde pálido), como óxido FeO, sulfuro FeS, hexacianoferratos (II) o ferrocianuros conteniendo el ión $Fe(CN)_6^{-4}$ y otros iones complejos. El hierro (III) se halla como ión $Fe^{+3}$ (amarillo a pardo, dependiendo de la hidrólisis),[2] como óxido de hierro (III) $Fe_2O_3$ (un pigmento rojo y abrasivo), como hexacianoferratos (III) o ferrocianuros conteniendo el ión $Fe(CN)_6^{-3}$ y otros complejos, como ferritas y muchos otros compuestos. Según el estado de oxidación y el ión complejo formado se presentan muy diferentes coloraciones. Para el análisis del hierro se produce primero el ión hierro y después se combina con tiocianato para producir un intenso color rojo.

Como en todos los casos tratados en este manual, no se intenta determinar pequeñas diferencias de concentración, sino los grandes contrastes que reflejan actividades intensas o constantes.

### *Procedimiento de análisis*

Primero se requiere una extracción con ácido clorhídrico, lo que permite que el hierro contenido en las muestras forme cloruros solubles. Para esto se utiliza ácido clorhídrico 10% y se agregan unos mililitros a un tubo de ensayo donde ya se encuentra una porción de la muestra en polvo. Se agita y se añaden unas gotas de una solución de tiocianato de potasio. En la reacción se forma un complejo de hierro de color rojo intenso que es muy sensible aun a pequeñas cantidades de hierro.

No puede emplearse el ácido clorhídrico industrial (ácido muriático), pues contiene hierro en solución.

[2]Son reacciones adicionales con el agua que producen iones complejos.



# Calcio

### *Importancia*

El calcio es el quinto elemento más abundante en la corteza terrestre (3.63%). No se halla en estado libre, pero como calcita se encuentra en la piedra caliza, el mármol, la greda, el cascarón de huevo, los caracoles y las conchas. Como fosfato de calcio es el principal constituyente inorgánico de dientes y huesos, y se presenta también en el mineral apatita. El calcio es un elemento químico de gran importancia en el contexto de abandono de una ocupación humana. Se encuentra en todos los suelos y es el catión predominante en casi todos los compuestos alcalinos de carácter no salino. Al mismo tiempo, está presente en altas concentraciones en todos los fluidos y tejidos animales, y se deposita por tanto en considerable cantidad con las excreciones y la descomposición de las carnes.

La subsecuente distribución a través del suelo en profundidad está condicionada por una serie de factores químicos y edáficos, entre los que se cuentan el pH del suelo, la cantidad de lluvia y la naturaleza del material motriz. El calcio adicionado al suelo sería disuelto y lixiviado muy rápidamente en condiciones húmedas y ácidas. Bajo ciertas circunstancias la velocidad de su pérdida puede exceder a la del nitrógeno. Por otra parte, cuando el pH está por encima de 7 o 7.5, el calcio se combina fácilmente con los constituyentes del suelo para formar compuestos muy estables. El resultado es una pronunciada tendencia del calcio a lixiviarse de una capa para ser fijado o depositado en un horizonte inferior, y formar frecuentemente una capa endurecida llamada duripán.

Los dos tipos de combinación masiva en los que interviene el calcio son los originados con fosfato ($PO_4^{-3}$) y con carbonato ($CO_3^{-2}$). Por lo tanto, es evidente que cuando el pH del suelo está por encima de la neutralidad, nos encontraremos con un sistema de tres componentes constituido por Ca, P y $CO_3^{-2}$. Al mismo tiempo, es un hecho que las cantidades y distribución de

los tres materiales aportados al suelo por acción humana o animal varían ampliamente. Por otra parte, las cantidades removidas por lixiviación están lejos de ser constantes. En consecuencia, resulta imprudente derivar índices para comparaciones cuantitativas. A pH por debajo de 7, o más aún, por debajo de 6, el carbonato y el bicarbonato difícilmente pueden persistir, y tendríamos que tratar con el calcio y el fósforo independientemente. El fósforo tendería a combinarse con elementos cargados positivamente, tales como el hierro y el aluminio, o con micelas coloidales, y el calcio se intercambiaría con iones positivos lábiles, tales como el sodio, el potasio y el hidrógeno, o podría formar complejos con numerosos aniones.

### *Procedimiento de análisis*

Se toma una muestra de suelo de 50 mg. Se coloca la muestra en el tubo de ensayo y se agita fuertemente durante un minuto. Se filtra la disolución, utilizando el filtrado para el análisis.

A un ml de extracto de suelo vertido en un tubo pequeño de fondo plano se añaden dos gotas de solución de oxalato de amonio y se agita.

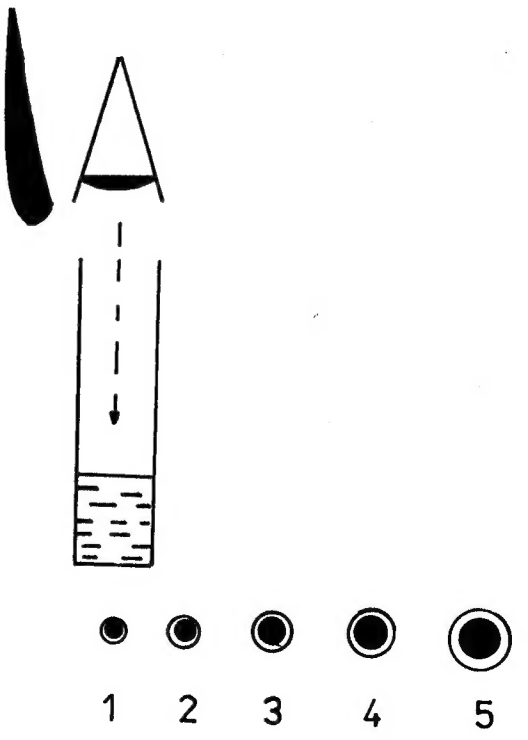
Un precipitado blanco indica calcio. Para determinar la cantidad relativa de calcio en la muestra se coloca el tubo sobre la serie de círculos hasta que se observe nítidamente el círculo exterior. Los resultados se dan en una escala de 1 a 5.

### *Reactivos a utilizar*

*Ácido acético diluido.* Se mezcla una parte de ácido acético glacial y tres partes de agua destilada.

*Disolución de oxalato de amonio.* Se prepara una solución saturada de oxalato de amonio en agua destilada, unos 5 g para 100 ml de agua.






Círculos para establecer la escala de medición de calcio.

## FOSFATOS

### *Importancia*

El análisis de fosfatos es una de las técnicas más populares de análisis de suelos en arqueología. Aunque este análisis se originó en la agricultura y ramas afines, donde se aplica con mucho éxito, al aplicarse a problemas arqueológicos tuvo durante mucho tiempo la dificultad de ser una prueba laboriosa y que requería instalaciones fijas de laboratorio.

El fósforo proviene de tejidos, como el óseo, de heces

fecales, de orina, de desechos de carne y piel. Como es lógico suponer —y de hecho se ha comprobado— el fósforo se acumula en las áreas ocupadas por los asentamientos humanos.

Una particularidad muy importante del fósforo, en su forma de fosfato, es que es muy estable químicamente, lo que significa que permanece durante mucho tiempo en el sitio en el que fue depositado. El radical fosfato ($PO_4^{-3}$) se fija a las partículas del suelo con gran facilidad y estabilidad, lo que es muy afortunado para la arqueología. De esta manera, muchos años después de que el sitio ha sido abandonado es posible detectar la presencia de fosfatos y, en consecuencia, pueden localizarse o delimitarse sitios arqueológicos.

Todos los métodos de determinación de fosfatos coinciden en los siguientes pasos:

*1)* Extracción del fosfato. Se logra mediante la reacción de la muestra del suelo con el ácido.

*2)* Formación de fosfomolibdato. El fósforo en la solución ácida se encuentra en forma de ácido fosfórico, que al reaccionar con algún molibdato forma fosfomolibdato.

*3)* Reducción. Los fosfomolibdatos, de color amarillo, se ponen en contacto con los agentes reductores para formar compuestos de azul de molibdeno.

### *Preparación de los reactivos*

*Reactivo A*. Se prepara con 35 ml de ácido clorhídrico 5N mezclado con 5 g de molibdato de amonio, todo disuelto hasta 100 ml de solución con agua destilada.

*Reactivo B*. Se prepara disolviendo 0.5 g de ácido ascórbico en 100 ml de solución.

*Reactivo C*. Se prepara con una parte de citrato de sodio y dos partes de agua destilada, para formar una solución saturada.

### *Procedimiento de análisis*

Se coloca una cantidad definida y constante de muestra



(50 mg) en el centro de un papel filtro sin cenizas. Se vierten dos gotas de reactivo A, se esperan 30 segundos y se vierten dos gotas de reactivo B. Al cabo de dos minutos contados a partir del añadido del reactivo A, se agrega el reactivo C a fin de detener la reacción y fijar el color. De esta manera, es posible almacenar los papeles filtro y compararlos en cualquier momento.

En suelos con alto contenido de carbonatos se reduce la acción extractiva del ácido, por lo que se recomienda aumentar a tres el número de gotas adicionadas. En suelos con alto contenido de ácidos húmicos (pH menor que 7) el color se enmascara por el oscurecimiento del papel.

## CARBONATOS

### *Importancia*

En el estudio de unidades habitacionales y de sus áreas de actividad se ha encontrado que la simple prueba de carbonatos puede ser utilizada intensivamente y contribuye a la interpretación de algunas áreas de actividad, que de otra manera no serían detectables.

La prueba de carbonatos, en combinación con la determinación de color del suelo y la fotografía aérea de baja altura, contribuye al estudio de los sitios desde la superficie con la posibilidad de informar sobre rasgos no evidentes (como sedimentos, restos de aplanado y estucado) que enriquecen la información arqueológica.

### *Procedimiento*

La muestra de suelo debe ser de la superficie, especialmente en terrenos arados, donde el trabajo agrícola ha removido las capas superficiales trayendo a la superficie fragmentos de mate-

rial constructivo. Si se toman muestras de suelo en forma sistemática será posible hacer un mapa de la distribución de los valores obtenidos de la aplicación de la prueba, y finalmente hacer una interpretación de la causa de su presencia.

Se toma un poco de suelo, de preferencia una medida constante, y se vacía dentro de un tubo de ensayo. Se adiciona una cantidad también constante de la solución de ácido clorhídrico y se aprecia la intensidad de la efervescencia. El número se asigna de acuerdo con la tabla de referencia.

El carbonato en polvo con la solución ácida produce efervescencia, según la reacción:

$$CO_3^{-2} + H^+ \rightarrow CO_2 \uparrow + HCO_3^-$$

| | |
|---|---|
| No hay burbujas ni se percibe ningún ruido al acercar el tubo de ensayo a la oreja. | 0 |
| No se ven burbujas, pero se percibe el ruido. | 1 |
| Se llegan a detectar pequeñas burbujas. | 2 |
| Reacción uniforme con liberación de pequeñas burbujas. | 3 |
| Reacción poco violenta, liberación de grandes burbujas, formación de espuma. | 4 |
| Reacción violenta, la espuma sube algunos centímetros dentro del tubo. | 5 |

Esta escala es correcta y útil para sedimentos y rocas naturales, pero es necesario agregar una categoría más para albergar algunas muestras que tienen mayor concentración de carbonato. Éstos han sido los casos de muestras provenientes de pisos estucados y de lugares que tuvieron que ver con el uso de cal. Así, se ha agregado un lugar más a la escala que, ahora, corre de 0 a 6. Con esta escala semicuantitativa se pueden realizar útiles interpretaciones en arqueología.



# Cloruros

## *Importancia*

La sal común es un material de gran importancia en todas las culturas, que han dedicado gran parte de su energía a obtenerla. En los procesos de producción de sal hay materiales y pisos necesariamente impregnados con este compuesto. Para identificar la presencia de sal se recurre a la prueba de cloruros, que ha resultado un eficiente indicador.

## *Procedimiento de análisis*

Se toma una muestra de suelo de 50 mg. Se coloca la muestra en el tubo de ensayo y se añaden unas gotas de ácido nítrico diluido. Se agregan unas gotas de indicador de nitrato de plata al 10%.

La presencia de un precipitado blanco es señal de cloruros.

## *Preparación de los reactivos*

Para esta prueba es muy importante emplear agua destilada, tanto para el ácido nítrico como para la solución de nitrato de plata. El ácido nítrico debe estar a una concentración cercana al 10% en peso. El nitrato de plata debe prepararse rápidamente pues es higroscópico y fotosensible; por esto último debe guardarse en un recipiente color ámbar.

# DETERMINACIÓN DE RESTOS ORGÁNICOS

La determinación de las funciones de los utensilios es muy importante en el estudio de los materiales arqueológicos. Resulta de gran valor poder determinar, mediante análisis químicos, los residuos que han dejado su huella en los artefactos hallados en las excavaciones, indicadores de los usos a que fueron destinados. Por ejemplo, los fragmentos de cerámica en los que la evidencia experimental demuestra la presencia de partes de comida permite inferir el uso del objeto como utensilio de cocina y no con fines decorativos, ceremoniales o como receptáculo de líquidos. En ocasiones, algunos residuos de alimentos se pueden detectar microscópicamente. Sin embargo, puesto que en la mayor parte de los casos sólo se dispone de fragmentos de cerámica, el único procedimiento posible es el análisis químico.

Cuando se trata de vasijas de barro o partes de ellas, podemos determinar su uso en la preparación de alimentos por medio de reacciones a la gota, instrumento analítico que nos los identifica como tales pero que muestra sus componentes según el siguiente esquema:

| *Alimentos* | *Componentes a identificar* |
|---|---|
| carnes | albúmina |
| grasas y aceites | ácidos grasos |
| tubérculos y otros alimentos ricos en azúcares | carbohidratos |



El Laboratorio de Prospección Arqueológica ha mostrado que estos compuestos orgánicos se encuentran impregnando los pisos de las unidades habitacionales, y en investigaciones recientes se ha notado la existencia de patrones de contaminación asociados con los cuartos habitados. Esto indica que los compuestos inorgánicos no son los únicos que permanecen en los poros del material cerámico o como parte del suelo, sino que también permanecen los compuestos orgánicos, por lo que su presencia y distribución son indicadores importantes en la prospección arqueológica.

La muestra se obtendrá de los fondos de los recipientes, ya sea triturando un fragmento o bien obteniendo el polvo de una perforación en el piso de una unidad habitacional. Con este material se practican las siguientes pruebas.

## ALBÚMINA

El nitrógeno en los aminogrupos de albúmina se identifica mediante el calentamiento de la muestra con óxidos alcalinos, con la correspondiente liberación de amoniaco, detectable con papel indicador.

### *Procedimiento de análisis*

Una muestra de cerámica (5-10 mg), tomada con la punta de una espátula, se coloca en el fondo del tubo de ensayo (100 x 10 mm). Se le vierte aproximadamente 0.1 g de CaO y se humedece con dos gotas de agua destilada.

En la boca del tubo de ensayo se coloca una tira de papel indicador universal humedecido con agua, cubriéndola totalmente.

Se calienta el tubo con mechero de alcohol cuidando que el CaO no salte. Después de 30 a 60 segundos la muestra se

descompone; si existía albúmina se desprende amoniaco y el papel se colorea de azul. Conviene hacer una prueba en blanco.

## Ácidos grasos

Las grasas se hidrolizan con hidróxido de amonio, produciendo mucha espuma (jabones de amonio). Aunque es poco probable la permanencia de grasas en las cerámicas arqueológicas, pueden darse casos en los que la prueba aporte evidencias de su uso.

### *Procedimiento de análisis*

Se introducen 5-10 mg de muestra en un tubo de ensayo y se agregan 3 ml de cloroformo. Se calienta la mezcla en el mechero por espacio de varios minutos para hacer un concentrado.

Se toma con gotero una porción de la muestra y se la coloca en un portaobjetos o en un vidrio plano. Después se agregan una o dos gotas de hidróxido de amonio concentrado (25-27%); transcurridos 1 o 2 minutos se añaden dos gotas de peróxido de hidrógeno (20-30%).

Al instante se comienza a formar alrededor de la muestra gran cantidad de burbujitas que se condensan, en varios minutos, en una rica y estable espuma, la que no se deshace ni siquiera después de 15 minutos.

Aunque es poco probable la presencia de sales de amonio en el material arqueológico, éstas dan una reacción similar. Para excluir esta posibilidad de error, puede realizarse una prueba con el reactivo de Nessler.

El peróxido de hidrógeno, al permanecer almacenado, poco a poco se descompone. Por eso es necesario, cada cierto tiempo, realizar una prueba con grasa. Como resultado de la mezcla de



peróxido con hidróxido de amonio también se liberan burbujitas, pero no llega a formarse una espuma espesa.

## Carbohidratos

Por hidrólisis y deshidratación de estos compuestos se desprende furfural, el cual puede ser detectado visualmente por el color violeta producido en el papel indicador preparado.

### *Procedimiento de análisis*

Se mezcla una porción de muestra con 8 mg, aproximadamente, de ácido oxálico en polvo, en un microcrisol de porcelana alto, y se le agregran unas cuantas gotas de ácido sulfúrico diluido (1:3). La reacción se inicia calentando con un mechero. Tan pronto como el contenido del crisol empieza a tornarse pardo, éste se cubre con un vidrio de reloj bajo el cual se coloca un papel de filtro impregnado con solución saturada de o-dianizidina en ácido acético glacial. El papel se torna violeta con los vapores de furfural desprendidos cuando los carbohidratos están presentes. Después de larga exposición al aire, el color violeta puede cambiar a azul. Conviene hacer una prueba en blanco.

# EL POTENCIAL DE HIDRÓGENO

### *Importancia*

El concepto de pH (potencial de hidrógeno) deriva de la necesidad de cuantificar la acidez y la alcalinidad. La acidez es una propiedad que en los orígenes de la química se detectó por el sabor agrio de las sustancias naturales, mientras que la alcalinidad se apreció por la sensación jabonosa de algunas sustancias al tacto. Para la medición de estas propiedades se creó una escala que se basa en la concentración de los iones hidronio ($H_3O^+$) en una solución. En el agua pura estas concentraciones son exactamente iguales; es el punto de neutralidad y corresponde a un pH igual a 7.

El valor del pH depende de la concentración molar de iones hidronio [$H_3O^+$], y se obtiene con la fórmula siguiente:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

La concentración molar [$H_3O^+$] varía generalmente de $10^{-1}$ a 10-14 mol/l, con lo que el pH varía de 1 a 14. Un pH menor de 7 indica acidez; mayor de 7 indica alcalinidad; igual a 7, neutralidad.

En condiciones naturales el pH del suelo varía de 4 a 9. Un suelo orgánico, con alta concentración de ácidos húmicos, tiene el valor más ácido (pH de 4 a 7), mientras que un suelo con alto contenido de sales como sulfatos y carbonatos se acerca al valor 9. En términos generales la acidez puede ser incrementada por la segregación de las raíces y por acción microbiana, mientras



que la alcalinidad se produce cuando predominan ciertas sales de calcio, magnesio, sodio.

Entre las aplicaciones del pH está la localización de cenizas en el contexto arqueológico, lo que a su vez significa localizar los lugares en que se realizaron combustiones. Además, es un auxiliar para determinar el estado de preservación de los materiales arqueológicos.

La distribución de los valores del pH en un piso sugiere la presencia de cenizas alrededor de los lugares de calentamiento, posiblemente anafres, y la trayectoria por donde se barrían las cenizas para sacarlas del cuarto.

Para conocer la variación del pH en las hogueras se han hecho experimentos tomando datos a diferentes distancias a partir del centro de una hoguera, y se ha notado cómo los valores disminuyen con la distancia.

De esta manera, los valores altos del pH se han constituido como un importante indicador de lugares de preparación de alimento y de otras actividades relacionadas con el fuego, aun cuando no siempre se aprecien cambios de color en los pisos.

Finalmente, el valor del pH es determinante para el deterioro o conservación de los materiales en el contexto arqueológico. Los metales se deterioran rápidamente en contextos ácidos, mientras que la concha se conserva en contextos alcalinos.

### *Procedimiento de análisis*

En su forma más simple la determinación del pH puede hacerse como sigue.

Se coloca una cantidad de suelo equivalente a 50 mg (con la punta de una espátula) en un vidrio de reloj o en una placa de porcelana, y se humedece con unas gotas de agua destilada. A los 30 segundos una porción del líquido se absorbe en una tira de papel universal para las pruebas de pH. El color que adquiere la parte húmeda del mismo se compara con una escala colorimétrica que adjunta el fabricante.

En la actualidad existen muy diversos medidores electróni-

cos de pH que van desde equipos grandes de alta precisión, con aproximación de centésimas y con muy diferentes tipos de electrodos, hasta los más pequeños medidores portátiles autocalibrables del tamaño de un bolígrafo, que muestran la lectura en una pantalla digital. Todos ellos dan mediciones confiables de pH, pero su selección dependerá de factores como el costo, la precisión y los accesorios en relación con las necesidades.



# COLOR DEL SUELO

En el transcurso de una excavación arqueológica el excavador frecuentemente tropieza con pequeñas lentículas y horizontes estratigráficos que presentan una coloración distinta del contexto circundante, cada una de las cuales puede asociarse con causas más o menos definidas.

## COLORACIÓN NEGRA

Usualmente, el color negro en el suelo se atribuye a la presencia de carbón, como resultado de las actividades relacionadas con la combustión. Sin embargo, los procesos de acumulación y movimiento de la materia orgánica, como desarrollo propio del suelo, pueden traer como consecuencia que la presencia del color negro se deba a la precipitación de óxido de manganeso y humus.

Ante la duda, se impone establecer una diferenciación entre estos materiales, para lo cual se describen dos análisis químicos sencillos.

*a)* Para determinar si se trata de dióxido de manganeso ($MnO_2$) o de carbón se coloca una pequeñísima porción de clorato de potasio ($KClO_3$) en una cápsula de porcelana y se calienta hasta que se funda. Se añade con cuidado un fragmento pequeño del material a ensayar. Si se trata de carbón, produce una reacción violenta, roja incandenscente. En caso contrario,